

Entwicklung der "Rechenmaschine" (Kurzfassung)

Leilich, Hans-Otto

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1988 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.69-75



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

11.11.1988 in Braunschweig

Entwicklung der „Rechenmaschine“

(Kurzfassung)

Von **Hans-Otto Leilich**

1. Einleitung

Dieser Vortrag kann keinen vollständigen historischen Überblick über die Entwicklungsgeschichte mechanischer und elektronischer Rechenmaschinen geben. Dafür sei auf die Literatur (z.B. [1], [2], [3]) hingewiesen und auf die schönen musealen Ausstellungen z.B. im Niedersächsischen Landesmuseum in Wolfenbüttel (Brunsviga Sammlung), im Zwinger in Dresden (astronomische Instrumente und Rechenuhren) und in der neuen Informatik-Abteilung des Deutschen Museums in München. Ich möchte auch nicht über die Erfolgsgeschichte der Mikroelektronik oder die mathematischen und theoretischen Aspekte der Informatik sprechen, sondern mein engeres Fachgebiet (seit 1968 an der TU-Braunschweig) vorstellen: „Rechnerstrukturen“, auch „Rechnerarchitektur“ oder im Fachjargon „Computer Hardware“ genannt, wodurch dann der Begriff „Rechenmaschine“ erweitert zu sehen ist. Leitmotiv ist das bewußte Erkennen der Grundbegriffe von Information und deren Ausnutzung bei der Konstruktion von Geräten und Systemen zur Informationsverarbeitung im Sinne der Ingenieurwissenschaften.

2. Zahlen und Rechenmaschinen

Zahlen als Unterscheidungs- und Ordnungsmerkmale oder auch als Anzahlen (Mengengrößen) sind wohl die grundlegendsten und ältesten Begriffe der Informationswelt. Zur Denkbarmachung, zur Veranschaulichung und zum praktischen Umgang dieser immerhin abstrakten Dinge hat der Mensch sicher ganz früh seine Finger, Steinchen, Striche im Sand und Kerben in Holz oder Stein als Symbole benutzt, wie wir bereits von ca. 4000 Jahre alten babylonischen Überlieferungen wissen ([1], [4]). Diese Steine etc. könnte man als erste Stufe von „Rechenmaschinen“ betrachten, bei denen nur die Zahlendarstellung, d.h. die **Speicherung** von Information (Übertragung über die Zeit), mechanisiert war. Der Abakus – seit 3000 Jahren bekannt und noch heute das verbreitetste Rechenhilfsmittel der Welt – ist mit seinen verschiebbaren Kugeln auf Drähten bereits eine ingenöse Verbesserung zur Ausführung der Rechenoperationen, obwohl der Eingriff auf die Speichersymbole noch vollständig manuell geschieht (siehe Bild 1a).

Die erste eigentliche Rechenmaschine für die vier Spezies wurde von Wilhelm Schickard (1592–1635, Professor an der Universität Tübingen) konstruiert, bei der ein Räderwerk den Übertrag auf die nächste Dezimalstelle besorgte und damit die Handhabung weiter „automatisierte“ (Bild 1b). Diese Maschine hatte tausende von Nachfolgern mit verfeinerter Mechanik und Elektronik, bis hin zum heutigen „Kartenrechner“.

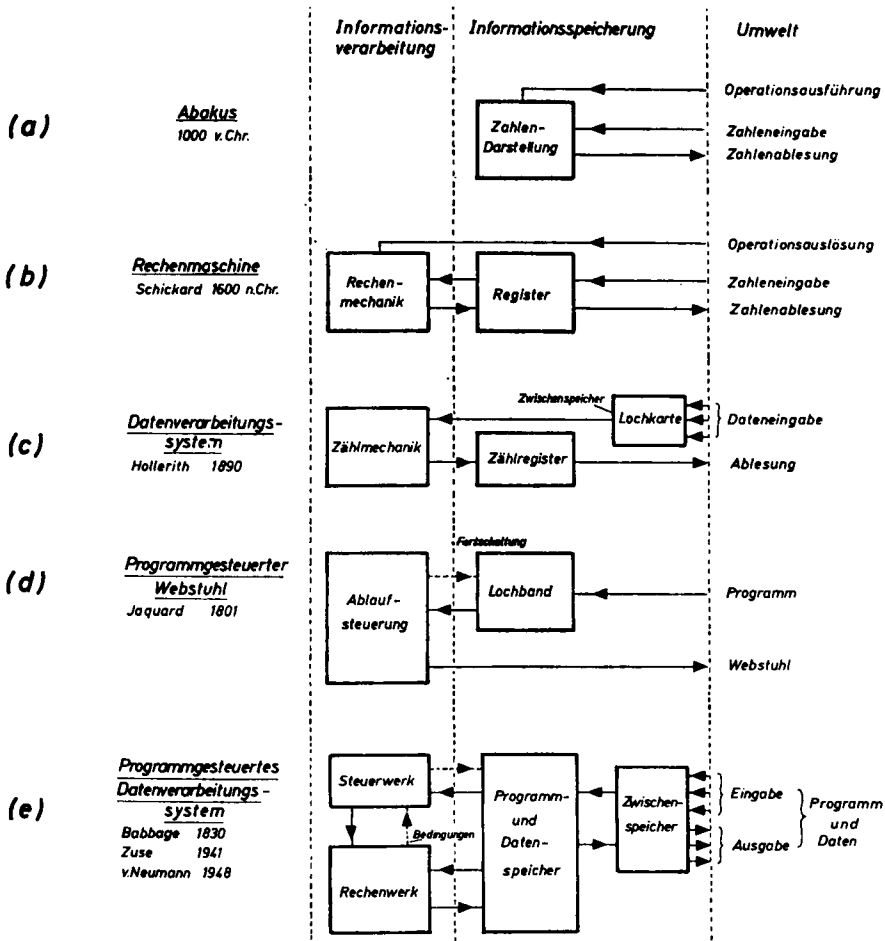


Bild 1:
Schematische Entwicklungsgeschichte

Der Antrieb zur Weiterentwicklung war sicher vorwiegend praktischer, handwerklicher Natur. Das Verständnis des „Räderwerks“ und der Anwendung der Rechenmaschine war ziemlich weit verbreitet, weil ja die Entwicklungsgeschichte viele Generationen von Menschen überdeckte und sich „Hardware“ und „Software“ gut einspielen konnten.

3. Andere Informationsverbreitungsmaschinen

Außer den „Rechenmaschinen“ gibt es viele andere Wurzeln für die heutige Informationstechnik.

Am bekanntesten ist da die Nachrichtenübertragungstechnik (Telegraph, Telefon, Funk, seit rund 100 Jahren), insbesondere auch die Telefonübermittlungstechnik (mit Drehwählern, Kreuzschinenschaltern, Speicherregistern und „Markierern“).

Weniger bekannt ist, daß auch die Lochkarte von Hermann Hollerith mit elektromechanischen Zählwerken schon 1890 zur amerikanischen Volkszählung eingesetzt wurde (Bild 1c, [1], [4]). Man kann dies als den Ursprung von „Datenverarbeitungssystemen“ ansehen, zumal daraus 1908 die „International Business Machine Corporation“ hervorging.

Der Ursprung von „Computer Integrated Manufacturing“ (CIM), von automatischer Prozeßsteuerung, „NC-Maschinen“ und Robotik ist sogar noch älter. Jacquard [2] baute bereits 1801 bis 1808 einen Steuerungsmechanismus für Webstühle mit Lochmustern in Papierbändern. Auch Spieluhren aller Art gehören zu den Urvätern der Automaten.

In all diesen jahrhundertelangen Entwicklungen kam die Motivation direkt von der Anwendung, und die Ideen entstammten vorwiegend der Intuition und weniger dem analytischen Erkennungsdrang nach dem Wesen der Information, sowie deren Gesetzen, Möglichkeiten und Grenzen.

4. Programmgesteuerte Rechenmaschinen

Die Kombination von automatischer Steuerung mit mechanisierter Informationsspeicherung und -verarbeitung wurde nachweislich zuerst von Charles Babbage (1792–1871) vorgeschlagen (Prinzipskizze s. Bild 1e). Er gilt als der „Vater des Computers“. Babbage war Mathematiker (Universität London) und vertrat eine viel abstraktere Denkweise. Seine ingenieurwissenschaftlichen Ansätze zur Konstruktion und Anwendung waren seiner Zeit weit voraus. Trotz vieler Bemühungen hat auch seine „Difference Engine“ wegen mechanischer Probleme (mangels geeigneter Verstärkertechnik) nie funktioniert.

Konrad Zuse entwickelte in Berlin die erste funktionsfähige programmgesteuerte Rechenmaschine („Z3“, 1941, jetzt im Deutschen Museum). Er benutzte elektromagnetische Relais für die Verknüpfungen, mechanische Datenspeicher und Lochstreifen für die Programme. Diese „1. Generation“ von Rechenanlagen war viele Jahre echt im Einsatz, ehe sie von Röhrenrechnern (1952–60, „2. Generation“), Transistorrechnern (bis ca. 1970, „3. Generation“) und dann von den Rechnern mit der heutigen Technologie (integrierte Siliziumtechnik, „4. Generation“) abgelöst wurde.

Zuse hat als junger Bauingenieur die Lösung von Gleichungssystemen als Anwendung im Auge gehabt. Er ist aber ein „analytischer Geist“ und hat das Wesen der Information, seiner optimalen Verarbeitung und Steuerung zu erfassen versucht. Sein „Planckalkül“ wird als Vorläufer höherer Programmiersprachen angesehen.

5. „Informationswissenschaft“

Zuse wie auch Babbage repräsentieren in gewisser Weise bereits die Entwicklungstendenz der Rechenmaschinentechnik von der unmittelbaren Anwendungsbezogen-

heit (mit vorwiegend intuitiver Denkweise) zur wissenschaftlichen Betrachtungsweise (mit mathematisch definierten Grundbegriffen und Zusammenhängen). Es gibt heute wohl etablierte Lehrgebäude z.B. der Schaltwerktheorie und Automatentheorie, in denen die (intuitiven) Begriffe wie Verarbeitung, Speicherung sowie die Daten- und Programmstrukturen klar definiert sind und für den Umgang damit mathematische Ausdrucksmittel bestehen.

In dem selben Maße wie man die den verschiedenen Anwendern selbstverständliche (intuitive) Grundbegriffe in ein größeres, abstrakteres System einbaut, entfernt sich dieses System von den Praktikern. Es entsteht die Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis, und zwar aus zwei Gründen in ganz besonderem Maße im Vergleich zu anderen Gebieten der Ingenieurwissenschaft.

Erstens ist die „Informationswissenschaft“ – ich gebrauche dieses Wort um nicht den aktuellen Streit um Förderungsmittel beim Gebrauch der Worte „Informatik“ und „Informationstechnik“ zu berühren – doch sehr neu und das Generationsproblem wirkt noch stark. (Erst ca. 1970 als allgemeines akademisches Vollstudium eingeführt und ab ca. 1980 von Industrie und Verwaltung akzeptiert!)

Zweitens bestehen die Objekte der Informationsverarbeitung (Daten) aus demselben „Stoff“ wie die Aktionen (Befehle, Programme), mit denen man sie verarbeitet, nämlich aus (abstrakter) Information. Diese Sorte Abstraktion bereitet den verschiedenartigen Fachleuten aus dem Ingenieurwesen, aus Mathematik und Organisationswesen oft erhebliche Probleme – am wenigsten den Studenten, die in diese Begriffswelt hineinwachsen. Und obendrein sind diese Begriffe wesensverwandt mit der Denkwelt des Menschen selbst, so daß sich aus der Reflektion neue Probleme ergeben. Jedenfalls ist die verbreitete Aversion gegen „Denkmaschinen“ und „künstliche Intelligenz“ verständlich: die menschliche Eitelkeit verschmerzt viel eher die Konkurrenz einer Energiemaschine gegenüber seiner Muskelkraft.

Diese beiden Akzeptanzprobleme der „Informationswissenschaft“ sind also sachbedingt. Hinzu kommen natürlich alle anderen Mechanismen der menschlichen Natur und seiner Gesellschaft, die einem Umbruch der Denkungsweisen entgegenstehen. Andererseits ist der praktische Nutzen aus der digitalen Datentechnik auf vielen Gebieten so offenbar, daß sich der „Computer“ und der „Informatiker“ geradezu stürmisch verbreitet haben.

Die Andeutung von neuen „Lehrgebäuden“ der Informationswissenschaft soll den Nichtfachmann nicht darüber hinwegtäuschen, daß dieses Gebiet ungeheuer schwierig zu erfassen ist und daß wir erst in den allerersten Anfängen stehen, vergleichbar etwa mit der Elektrotechnik vor der Maxwell'schen Theorie (1870).

Es gibt zwar seit 1948 die Shannon'sche Informationstheorie mit dem Begriff des Nachrichtengehalts

$$I(x) = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i$$

wobei p_i die Wahrscheinlichkeit ist, daß das i -te Symbol x_i aus der Menge X (mit N Symbolen) auftritt. Bei Gleichwahrscheinlichkeit ($p_i = 1/N$) ergibt sich

$$I(N) = \log_2 N$$

die einfache Deutung als der (Zweier-)Logarithmus der Anzahl der Auswahlmöglichkeiten in „bit“. Man hat auch (Brillouin, 1951) die Beziehung dieser Größe mit der thermodynamischen Entropie hergestellt (der Unterschied besteht nur im Vorzeichen und der Boltzmann'schen Konstante [3]). Diese und einige andere Erkenntnisse sind m.E. die ersten Ansätze, die Information in das System der anderen physikalischen Grundgrößen – Energie, Raum, Zeit – einzubeziehen.

Andererseits gibt es noch kein allgemeingültiges Maß für die Informationsverarbeitung z.B. für die „Informationsarbeit“ für eine Addition oder für die Leistungsfähigkeit eines Rechners. Man behilft sich bekanntlich mit bestimmten gewichteten Mittelwerten (z.B. „GAMM-Mix“) aus der Ausführungszeit von Befehlen und gibt diese dann in MIPS (million instructions per second) an. Die Wichtung der Befehle ist aber bestenfalls (mehr oder weniger) anwendungsgerecht. Die Rechenleistung hängt zusätzlich weitgehend von dem inneren Steuerungsablauf ab. Man benutzt auch sog. „benchmarks“. Aber man muß sich darüber klar sein, daß trotz vieler Versuche die Computertechnik heute noch nicht einmal ein eindeutig definiertes physikalisches Maß für die Verarbeitungsleistung hat.

6. Weiterentwicklung

Als Trends für die Weiterentwicklung von „Rechenmaschinen“, d.h. von Informationsverarbeitungssystemen, aufgrund der Entwicklung der Technologien, der Softwaretechnik und der Anwendungsgebiete, möchte ich die folgenden Stichpunkte nennen.

Die Verfügbarkeit „Integrierter Schaltungen“ bedeutet nicht nur, daß man Transistoren, Widerstände und Leitungen in sehr großer Zahl „auf einem Chip“, klein und billig, herstellen kann. Für die Rechnerstrukturen bedeutet es auch, daß Speicherung und Verarbeitung in gleicher Technologie realisiert wird. Die klassische technikbedingte Trennung in Speicher (Kernspeicher) und Rechenwerk (Dioden und Transistornetze), wie sie auch in unserem Strukturbild dargestellt wurde, bestimmt nicht mehr die Rechnerstruktur. Wir haben ja schon in Bild 1e das „Steuerwerk“ und das „Rechenwerk“ in die Sektion „Informationsverarbeitung“ gezeichnet. Bei heutigen und erst recht in künftigen Rechnern ist die Struktur natürlich viel komplizierter, de facto ist eine Trennlinie zwischen Speicherung und Verarbeitung geometrisch gar nicht mehr darstellbar. Man kann also die Schaltungsstruktur weitgehend an die Technologie (Aufteilung in Chips), an die Berechnungsalgorithmen und die Anwendungen anpassen. Diese Entwurfsfreiheit, zusammen mit der billigen Verfügbarkeit von hunderttausenden von Gatterelementen, führt natürlich zu einer ungeheuren zahlenmäßigen Komplexität, die ohne Rechnerhilfe überhaupt nicht mehr bewältigt werden kann.

Die Flexibilität erlaubt – ja erzwingt – auch eine Anpassung der inneren Betriebsabläufe an die Technologie und an die enorm gestiegenen Anforderungen der Anwen-

der (z.B. an die Verfügbarkeit und Verlässlichkeit). Fragen der Aufgliederung der Anwenderprogramme (in höherer Sprache), der Compilierung oder Interpretierung, der Maschinenprogramme, Mikroprogramme, spezieller Funktionswerke, spezieller Speicherverwaltung etc. sind nach wie vor im Fluß. „RISC“ (Reduced Instruction Set Computer) ist ein Schlagwort aus derartigen Strukturentwicklungen.

Großintegrierte, billige Chips, die physikalischen Grenzen der Technologie (Taktfrequenzen: 10 MHz optimal, 100 MHz maximal) und die Akzeptanz von Computern für sehr große Aufgaben (Wetterberechnung, Strömungsprobleme, Flugsimulatoren) führten zu Multiprozessorsystemen, oft als „Supercomputer“ bezeichnet. Die naheliegende Idee, sehr viele gleichartige Mikroprozessoren (z.B. SUPRENUM: 256 Höchstleistungs-Mikroprozessoren) parallel arbeiten zu lassen (ver-)führte schon seit 20 Jahren zu Großprojekten (Illiack IV). Die Problematik der effektiven Aufteilung der Aufgabe und die Bereitstellung geeigneter Programmiersprachen dafür erwies sich dann als Grund für viele Mißerfolge. Hier spiegelt sich die oben erwähnte Schwierigkeit im Umgang mit neuen Denkgewohnheiten: die klassischen Programmiersprachen sind sequentiell (Befehl nach Befehl). Die parallele Ausführung erfordert ungewöhnliche Sprachmittel.

Eine besondere Schwierigkeit bei Parallelrechnern entsteht dann, wenn die Aufgaben nicht regelmäßig und übersichtlich im gleichen Taktraster auf allen Prozessoren ablaufen. Wenn viele Prozessoren asynchron an einer gemeinsamen Datenmenge arbeiten, ergibt sich eine zeitliche Koordinationsaufgabe, die auch von den Fachleuten gewaltig unterschätzt wurde. Sogenannte „Datenflußmaschinen“ wurden vorgeschlagen, bei denen die Operationen in jedem Prozessor dann angestoßen werden, wenn die zu berechnenden Daten vorhanden sind (und nicht wann ein Befehl aus einem Programmspeicher kommt).

Andere Tendenzen, die die Möglichkeiten der heutigen Informationstechnik bestimmten, sind mit den Schlagworten „Verteilte Intelligenz“, „Front End“ und „Back End“-Computer bezeichnet, die alle auf die Optimierung der Rechnerstrukturen für bestimmte Aufgabengebiete hinzielen. Die Verarbeitung soll so weit wie möglich an Ort und Stelle passieren, damit die Daten nicht unnütz transportiert werden müssen. Die Datenverarbeitung geht meistens schneller als der Datentransport. „Modularität“ ist ein großes Wort, wie auch in anderen Gebieten der Technik und Wirtschaft.

Ein typischer Trend ist die Ausweitung einer „Rechenmaschine“ in das Umfeld. Früher betrachtete man das Gehäuse des Gerätes als „I/O-Schnittstelle“. Heute gehören meist die Telefonleitungen zwischen Geräten zum „System“, ebenso der elektronische Duden beim Schreibsystem, der Aktenschrank im Keller oder die ganze Fertigungslinie. Nach jahrzehntelangen Widerständen (s.o.) betrachtet man heute ein Telefon-, Telegraph-, Fernseh-, Rechner-, Auskunft-, Post- etc. System als ein „Integrated Services Digital Network“ (ISDN).

7. Künstliche Intelligenz

Als letzter Trend im modernen „Rechenmaschinenbau“ soll noch das Schlagwort „Künstliche Intelligenz“ kommentiert werden. Hier fragt sich natürlich, wie man „natürliche Intelligenz“ definiert, nachdem nicht einmal eine Addition meßbar ist. Ernsthaft sollte man darin wohl das sichtbare Anzeichen der Begrenztheit der Computerwelt sehen. Die heutigen (Super ...) Computersysteme arbeiten schließlich (ganz dumm) doch nur Programme ab, die Menschen vorher irgendwie geschrieben haben, auch wenn ein Expertensystem sich nach bestimmten Eingabesignalen das richtige Programm auswählen kann. Der „intelligente“ Mensch verarbeitet viel langsamer Information, prüft das Ergebnis aber viel öfter, entscheidet dann oft über einen anderen Weg – d.h. er „rechnet“ und programmiert abwechselnd. Und typischerweise „speichert“ der Mensch nicht nur die (gelernten) Programme, sondern registriert auch die Ergebnisse und Zwischenergebnisse seiner Denktätigkeit. Er kann nicht gezielt vergessen wie der Rechner! Dadurch kann er sich erinnern, nachdenken, einen Denkweg zurückverfolgen und neu ansetzen. Derartige Überlegungen und Vergleiche lassen den Computerexperten, der ernsthaft an „Knowledge Base Machines“ und an den Sprachen dazu arbeitet, bescheiden auf sein Gebiet sehen. Falls er dennoch, z.B. bei der Erforschung von „Neuronen-Netzwerken“, zur Arroganz neigt, muß er sich nur mit dem beschäftigen, was man heute von der Hirnrinde des Menschen weiß oder von der Netzhaut des Auges.

Wir werden keinen Homunkulus bauen und keinen Computer lachen lassen. Aber die Informationswissenschaft ist ein faszinierendes, noch ganz junges Arbeitsgebiet für Generationen von Ingenieuren und Informatikern.

Literatur

- [1] K. Ganzhorn, W. Walter: „Geschichtliche Entwicklung der Datenverarbeitung“, Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens 1966, Verlag für Wissenschaft und Leben, Georg Heidecker, Windsheim.
- [2] W. de Beauclair: „Rechnen mit Maschinen“, Vieweg, Braunschweig 1968.
- [3] H. Kaufmann: „Die Ahnen des Computers“, Econ Verlag, Düsseldorf, Wien 1974.
- [4] H.O. Leilich: „Rechenmaschinen in Vergangenheit und Zukunft“, Mitteilungen der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Jahrgang V, Heft 1/1970.